



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Beatriz Correa Xavier

**AVALIAÇÃO DO CONCRETO LEVE ESTRUTURAL COM EPS
RECICLADO**

**Palmas
2015**



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Beatriz Correa Xavier

AVALIAÇÃO DO CONCRETO LEVE ESTRUTURAL COM EPS RECICLADO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
elaborado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc. Fabrício Bassani.

Palmas

2015



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Beatriz Correa Xavier

AVALIAÇÃO DO CONCRETO LEVE ESTRUTURAL COM EPS RECICLADO

Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) elaborado como requisito
parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil pelo
Centro Universitário Luterano de
Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc. Fabrício
Bassani.

Aprovada em ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Fabrício Bassani

Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior

Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Cezar Augusto Matos e Souza

Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas

2015

AGRADECIMENTOS

À Deus por me dar força e sabedoria para seguir adiante.

Aos meus pais, Adailto e Sônia, pelo amor, incentivo e apoio incondicional em todos os momentos, por me proporcionarem a alegria deste momento, sem vocês nada seria possível.

Ao meu irmão, Gabriel, pela companhia, amizade e apoio.

Ao meu namorado, pela paciência e carinho em todos os momentos, e por compreender minha ausência.

Aos meus amigos que construí ao longo desta jornada e que de alguma forma contribuíram para minha formação, nas madrugadas de estudos. E em especial à minha amiga-irmã de longa data, Dayse, que mesmo distante se fez presente em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis me dando amor e conforto.

À todos os professores, pela dedicação e amizade.

Ao meu orientador, Fabrício Bassani, pela dedicação, paciência e esforço para tornar este trabalho possível. À ele minha admiração e respeito.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

XAVIER, Beatriz Correa. **Avaliação do concreto leve estrutural com EPS reciclado**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil – CEULP/ULBRA. Palmas/TO.

RESUMO

Com a modernização e o grande avanço na tecnologia da engenharia, o uso de materiais alternativos tem aparecido cada vez mais nas soluções construtivas, como o concreto leve estrutural que por sua vez contribui na redução do peso próprio de estruturas e conseqüentemente no custo final da obra. O presente trabalho avaliou o concreto leve estrutural com adição de EPS reciclado, a fim de diminuir a massa específica do concreto, e mantendo a resistência mecânica, e ainda contribuindo com a sustentabilidade, recolhendo o EPS de despejos da construção civil. O traço utilizado como referência foi retirado do livro do Metha; Monteiro; *apud* ACI SP-154, 1995, e a partir deste traço foram adicionadas diferentes quantidades de EPS afim de reduzir a massa específica do concreto. O concreto teve suas características físicas avaliadas através de ensaios laboratoriais de resistência a compressão e tração, massa específica e absorção de água. Com a análise dos resultados constatou-se que com o aumento do teor de EPS a massa específica diminui consideravelmente, mas não houve a manutenção da resistência, já que esta teve uma redução significativa. Ainda assim, um dos traços produzidos ficou dentro dos parâmetros especificados, obtendo massa específica adequada para um concreto leve e resistência à compressão superior a mínima especificada para concretos estruturais.

Palavras-chave: Concreto Leve; Estrutural; EPS Reciclado;

XAVIER, Beatriz Correa. **Evaluation on structural lightweight concrete with EPS recycled.** 2015. Monograph of conclusion in Civil Engineering course, Centro Universitario Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil – CEULP/ULBRA. Palmas TO.

ABSTRACT

With the modernization and major advance in engineering technology, the use of alternative materials has appeared increasingly in constructive solutions, such as the structural lightweight concrete which in turn contributes in reducing the structural own weight and as a consequence the final cost of the work. This study evaluated the structural lightweight concrete with addition of recycled EPS in order to decrease the specific mass of concrete, while maintaining the mechanical strength, and still contributing to sustainability, collecting the EPS construction dumps. The trace used as a reference was removed from Metha of the book; Monteiro; cited ACI SP-154, 1995, and from this trait were added different amounts of EPS in order to reduce the specific weight of the concrete. The concrete had physical characteristics evaluated by measurement of the compressive and traction strength tests, specific mass and water absorption. With the analysis of the results it was found that with increasing content of the EPS specific mass decreases considerably, but there was no maintenance of resistance, since it had a significant reduction. Even so, one of the traits produced was within specified parameters, obtaining adequate specific mass for a light concrete and resistance to compression greater than minimum specified for structural concrete.

Key-words: lightweight concrete; Structural; Recycled EPS;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Pirâmides do Egito.....	4
Figura 2- Panteão Romano.....	5
Figura 3- Tipos de areia quanto às dimensões.....	9
Figura 4- Britas de dimensões variadas.....	10
Figura 5: Pérolas de EPS.....	15
Figura 6- Concreto leve com EPS.....	16
Figura 7: Abatimento do tronco de cone em laboratório.....	19
Figura 8- Corpo de prova.....	20
Figura 9- Prensa hidráulica EMIC.....	21
Figura 10- Corpo de prova após ensaio de resistência a compressão.....	21
Figura 11: Pérolas de EPS.....	25
Figura 12: Comparativo das massas específicas em relação aos limites (ACI 213R-87, NS 3473 E, RILEM).....	27
Figura 13: Slump test do traço sem adição de EPS.....	28
Figura 14: Corpos de prova após ensaio de resistência à compressão axial, T-1, T-2 e T-3 respectivamente da esquerda para direita.....	30
Figura 15: Dispersão polinomial dos dados de resistência à compressão axial aos 3 dias.....	31
Figura 16: Dispersão linear dos dados de resistência à compressão axial aos 3 dias.....	32
Figura 17: Dispersão polinomial dos dados de resistência à compressão axial aos 7 dias.....	33

Figura 18: Dispersão linear dos dados de resistência à compressão axial aos 7 dias.	34
Figura 19: Dispersão polinomial dos dados de resistência à compressão axial aos 14 dias.....	35
Figura 20: Dispersão linear dos dados de resistência à compressão axial aos 14 dias.....	36
Figura 21: Dispersão polinomial dos dados de resistência à compressão axial aos 28 dias.....	38
Figura 22: Dispersão linear dos dados de resistência à compressão axial aos 28 dias.....	39
Figura 23: Corpo de prova do traço T-3 após ensaio de resistência à compressão axial.....	40
Figura 24: Resistência à compressão axial de cada traço por idades.....	40
Figura 25: Corpo de prova após ensaio de tração por compressão diametral.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Abatimento recomendado para vários tipos de construção.....	8
Tabela 2- Documentos normativos internacionais para massa específica de um CLE.	13
Tabela 3- Valores correspondentes de resistência à compressão e massa específica para concreto leve estrutural.....	13
Tabela 4- Propriedades térmicas dos concretos leves.....	17
Tabela 5: Dosagem do traço referência de CAD.....	18
Tabela 6: Características físicas do traço de CAD.....	18
Tabela 7: Dosagem de EPS em função do volume de cimento Portland.....	19
Tabela 8: Quantidade de corpos de prova a serem ensaiados por idade	20
Tabela 9: Características físicas da areia.....	23
Tabela 10: Características físicas da brita.....	23
Tabela 11: Características físicas e químicas da sílica ativa.....	24
Tabela 12: Massa específica em função do EPS.....	26
Tabela 13: Comparativo das massas específicas obtidas com os documentos normativos internacionais.....	26
Tabela 14: Slump test em relação ao teor de EPS.....	27
Tabela 15: Valores de abatimento recomendados pelo ACI.....	28
Tabela 16: Valores de abatimento dos traços estudados e intervalo de abatimento recomendado para peças estruturais.....	29
Tabela 17: Dispersão estatística da resistência à compressão axial aos 3 dias.....	30
Tabela 18: Dispersão estatística da resistência à compressão axial aos 7 dias.....	33
Tabela 19: Dispersão estatística da resistência à compressão axial aos 14 dias.....	35

Tabela 20: Dispersão estatística da resistência à compressão axial aos 28 dias.	37
Tabela 21: Resistência à tração por compressão diametral em função do EPS.	41
Tabela 22: Fator de Eficiência.....	42
Tabela 23: Percentual de água absorvida em cada traço	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute – Instituto Americano de Concreto
ASTM	American Society for Testing and Materials – Sociedade Americana de Testes e Materiais
BASF	Badische Anilin und Soda-Fabrik
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CIPLAN	Cimento Planalto S. A.
CLE	Concreto Leve Estrutural
CP	Cimento Portland
DIN	German Institute for Standardization – Instituto Alemão de Normalização
EPS	Poliestireno Expandido
FE	Fator de Eficiência
ISO	International Organization for Standardization – Organização Internacional para Padronização
NBR	Norma Brasileira
NM	Normalização no Mercosul
NS	Norsk Standard – Padrão Norueguês
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	IX
SUMÁRIO	I
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1 Objetivos Gerais	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
1.2. Justificativa e Importância do Trabalho	2
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. História do Cimento	4
2.2. Concreto	5
2.2.1. Microestrutura do Concreto	6
2.2.2. Trabalhabilidade	7
2.3. Agregados	8
2.3.1. Definição.....	8
2.3.2. Origem.....	8
2.3.3. Dimensões.....	9
2.3.4. Obtenção de agregados naturais.....	10
2.4. Concreto Leve Estrutural (CLE)	11
2.4.1. Justificativa do uso do concreto leve estrutural	12
2.4.2. Parâmetros do Concreto Leve Estrutural (CLE)	13
2.4.3. EPS.....	14
3. METODOLOGIA	18
3.1. Materiais utilizados e suas propriedades	22
3.1.1. Cimento	22

3.1.2. Areia	23
3.1.3. Brita	23
3.1.4. Sílica Ativa	23
3.1.5. Aditivo superplastificante	24
3.1.6. EPS.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1. Massa Específica	26
4.2. Abatimento do Tronco de Cone (Slump Test).....	27
4.3. Ensaio de Resistência	29
4.3.1. Resistência à Compressão Axial	29
4.3.2. Resistência à Tração por Compressão Diametral	41
4.4. Fator de Eficiência.....	41
4.5. Absorção de Água	42
5. CONCLUSÕES	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
7. APÊNDICE	50

1. INTRODUÇÃO

Devido às crescentes solicitações estruturais e econômicas, as edificações modernas requerem o uso racional do concreto. O concreto leve estrutural (CLE) se mostra um material eficiente para a redução do peso próprio da estrutura e, como consequência, tornam-se possíveis diversos usos que, segundo CATOIA (2012), se destacam por razões de viabilidade técnica e econômica. Este tipo de concreto especial é aplicado em estruturas onde grande parte das solicitações das estruturas é consequência do peso próprio, como pontes, edificações de múltiplos andares, plataformas marítimas flutuantes e até na economia no uso de concreto na fundação, além de tornar mais fácil o transporte e montagem de peças pré-moldadas de concreto.

As exigências atuais do mercado da construção civil tendo obras com desenhos cada vez mais ousados e/ou tamanhos maiores, aliado ao controle de custos cada vez mais restritivos faz com que a Engenharia Civil busque evoluções tecnológicas para atendimento destas necessidades. Esta busca tem levado a construção civil a otimizar os processos e reduzir os custos. Um desses casos é a utilização de materiais alternativos, para executar concreto estrutural leve.

O concreto estrutural tradicional responde por uma grande parcela do peso próprio de qualquer estrutura, o que impacta diretamente no custo da fundação. Como diz Rossignolo e Oliveira (2007):

A redução da massa específica do concreto, com a manutenção da resistência mecânica, propicia a redução do peso próprio da estrutura e, conseqüentemente, das cargas na fundação, reduzindo, assim, o custo final da obra, especialmente com a utilização da tecnologia da pré-fabricação.

Outro aspecto importante do atual estágio da engenharia civil é a utilização de materiais recicláveis oriundos ou não do Resíduo de Construção e Demolição (RCD), isto é bastante interessante porque a construção civil é uma das indústrias que mais utilizam materiais naturais em sua atividade.

Desta forma, o presente trabalho propõe-se a estudar a utilização de Poliestireno Expandido (EPS) reciclado para a confecção de concreto estrutural. Aliando aspectos importantes da Engenharia Civil, a economia de custos devido a peças mais leves que as tradicionais e a destinação de material reciclado que

diminui a pressão por local de destinação dos mesmos, isso sem perder de vista as questões da capacidade de carga, afinal as peças serão estruturais.

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

Avaliar as propriedades físicas do concreto leve estrutural com EPS reciclado, através de ensaios laboratoriais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir dosagens utilizando EPS reciclado;
- Determinar a Resistência a Compressão Axial;
- Avaliar a Absorção de Água, e Massa Específica;
- Verificar a Resistência à Tração por Compressão Diametral.

1.2. Justificativa e Importância do Trabalho

A utilização de concreto leve estrutural como um material alternativo influencia tanto na relação econômica quanto na redução do peso próprio das estruturas. A redução da massa específica do concreto ligada à manutenção da resistência mecânica proporciona a redução da densidade da estrutura, que é o objetivo principal do concreto leve estrutural, assim sendo, reduz também as cargas na fundação, reduzindo o custo final da obra.

Um grande problema atual da engenharia é o despejo inadequado de resíduos sólidos da construção civil, tendo em vista o grande consumo de concreto no mundo ao utilizar o EPS reciclado como agregado leve haverá também uma contribuição com a sustentabilidade, pois evitará o descarte inadequado deste material na natureza.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Pedroso (2009) “ o concreto é material construtivo amplamente disseminado. Podemos encontrá-lo em nossas casas de alvenaria, em rodovias, em pontes, nos edifícios mais altos do mundo, em torres de resfriamento, em usinas hidrelétricas e nucleares, em obras de saneamento, até em plataformas de extração petrolífera móveis. Estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que dá, segundo a Federación Ibero Americana de Hormigón Premesclado (FIHP), aproximadamente, um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. ”

Diante da afirmação de Pedroso (2009), observa-se que o concreto tem sido amplamente utilizado no mundo, por ser um material moldável podendo assumir diversas formas geométricas, característica que ajuda muito na sua utilização, tornando-o um material tão utilizado e disseminado no mundo, por isso a importância de se pesquisar sobre este tema.

As principais características do concreto como a facilidade de moldagem e sua grande resistência à compressão são excepcionais, tornando-o material de construção mais utilizado no mundo, através da utilização do concreto o ser humano conseguiu mudar seu próprio modo de vida levando a arquitetura e a engenharia a patamares nunca sonhados na antiguidade (CORDEIRO, 2001).

As novas concepções e exigências arquitetônicas levaram, em alguns casos, a necessidade do desenvolvimento de se ter um concreto com resistência estrutural, mas, ao mesmo tempo leve o que é a primeira vista uma contradição, pois, o concreto tradicional simples possui “massa específica de 2.400 kg/m^3 ” (BASTOS, 2011) e os concretos estruturais leves devem ter massa específica variando de 1680 à 1840 kg/m^3 , conforme a NBR NM 35, apud de Schwantes (2012, p.18) “são caracterizados de acordo com sua resistência à compressão aos 28 dias, sendo que para a resistência a compressão de 28 Mpa, o concreto deve possuir, no máximo, 1840 kg/m^3 e para concretos de resistência de 17 Mpa, sua massa específica não deve exceder 1680 kg/m^3 ”.

2.1. História do Cimento

A palavra cimento deriva do latim *caementum*, que significa união. O cimento pode ser definido como um aglomerante hidráulico constituído de óxidos (cálcio, silício, ferro e alumínio) que em contato com a água tem a capacidade de endurecer. A ASTM C 150 define Cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfatos de cálcio como um produto de adição.

Uma das mais antigas, ou talvez as mais antigas, evidências de uso de cimento se encontra nas pirâmides do Antigo Egito (figura 1). Nesta época eles produziam uma liga formada por uma mistura de gesso calcinado. Mais adiante, os romanos e os gregos começaram a utilizar um material obtido da queima de um gesso composto de calcário e cinzas vulcânicas, e este era misturado com areia e cacos de telhas. Essa argamassa foi utilizada em construções que existem até os dias atuais. Um exemplo de construção romana, que resiste até hoje é o Panteão (figura 2), que foi construído em 27 a.C.

Figura 1- Pirâmides do Egito.



Fonte: História do Mundo (2015).

Figura 2- Panteão Romano.



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (2010).

2.2. Concreto

Conforme descrito por Mehta e Monteiro (1994), o concreto é um dos materiais de construção mais antigos. No Egito já se empregava a argamassa de concreto na construção das estruturas das pirâmides e das sepulturas onde a mesma servia como material responsável pela junção das peças. O concreto é um material que ao longo do tempo apresenta variações significativas de suas propriedades. Variações das quais apresentam velocidades individualizadas ao longo da vida.

O concreto é basicamente um aglomerado resultante da mistura de cimento, água, agregados miúdos e graúdos (areia e rocha) e eventualmente aditivos e/ou adições. Quando em contato com a água, o cimento forma uma pasta resistente e aderente aos agregados.

Entretanto a microestrutura do concreto tem sido estudada mais profundamente, a fim de otimizar as características do concreto, analisando cada constituinte do concreto e sua relação com os demais. Desta maneira, identificam-se mecanismos responsáveis pela resistência, estabilidade dimensional e durabilidade das misturas, permitindo que se atue de maneira a melhorar as características dos concretos (METHA; MONTEIRO, 1994).

No concreto a máxima resistência é alcançada com uma pasta de cimento simples, devido ao alto custo do cimento, faz-se a junção de outros materiais, chamados de agregados, em que, para uma dada resistência e uma dada

consistência, há uma distribuição granulométrica ótima (combinação de agregado miúdo/gráúdo) que minimiza a quantidade de pasta. Seu desempenho independe das propriedades das matérias-primas, e sim das quantidades combinadas e empregadas na sua composição e produção (ISAIA, 2011).

As características do concreto dependem do seu estado físico. No seu estado fresco, um atributo importante é a trabalhabilidade, responsável por facilitar sua aplicação. Já no estado endurecido, a durabilidade, permeabilidade e, principalmente, a resistência são suas principais características.

O concreto é o material construtivo mais consumido no mundo, segundo Mehta e Monteiro (2008) o consumo mundial de concreto fica em torno de 11 bilhões de toneladas métricas por ano. Três razões para a grande utilização deste material são: ótima resistência do concreto à água; facilidade de manuseio e moldagem de qualquer tipo de peça, devido a sua trabalhabilidade no estado fresco; e o baixo custo em relação a outros materiais e rápida disponibilidade do material

2.2.1. Microestrutura do Concreto

A microestrutura é constituída pelo tipo, quantidade, tamanho, forma e distribuição das fases presentes em um material. No caso do concreto, este apresenta uma microestrutura complexa e heterogênea. Entretanto, o conhecimento tanto da microestrutura e das propriedades individuais dos componentes do concreto, quanto da relação entre eles serve para colaborar no controle de suas propriedades (MEHTA, 2008).

A microestrutura do concreto se divide em três fases: pasta de cimento hidratada, agregado e zona de transição; sendo a última a mais relevante para esta pesquisa.

2.2.1.1 Zona de Transição

Segundo Rossignolo (2009), a zona de transição influencia, diretamente, as propriedades relacionadas à resistência mecânica, o módulo de deformação, o mecanismo de propagação de fissura e a permeabilidade de agentes agressivos nos concretos, demonstrando assim, a grande importância do estudo da zona de transição pasta-agregado.

A zona de transição na interface pasta-agregado é normalmente a parte mais fraca do concreto, e pode ser considerada a fase limitante da resistência mecânica

do concreto. Geralmente a resistência mecânica na zona de transição é menor em relação às duas outras fases, rompendo primeiro nesta.

De acordo com Rossignolo (2009), no concreto fresco, filmes de água são formados ao redor do agregado, aumentando o fator água/cimento nesta área. Em seguida, íons decorrentes da dissolução de componentes do cimento se combinam e formam etringita, hidróxido de cálcio e silicato de cálcio hidratado. Em consequência da maior relação água/cimento, os produtos cristalinos ao redor do agregado apresentam cristais maiores, formando uma estrutura mais porosa e mais rica em etringita e hidróxido de cálcio.

Em decorrência do apresentado que a resistência na fase de transição é menor, pois quanto mais compacta for a pasta e menos cristalinos forem os compostos de hidratação maior será a resistência mecânica do concreto (ROSSIGNOLO, 2009).

2.2.2. Trabalhabilidade

A trabalhabilidade do concreto incorpora características do concreto no estado fresco, como a consistência e a coesão.

A consistência do concreto está diretamente ligada a umidade da mistura, quanto maior o fator água/cimento, maior o abatimento do concreto. A coesão, por sua vez, é a medida da facilidade de acabamento e adensamento, avaliada pela capacidade de desempenamento e pela avaliação visual de resistência à segregação (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A tabela 1, apresenta os valores recomendados de abatimento para vários tipos de construções.

Tabela 1: Abatimento recomendado para vários tipos de construção.

Tipos de Construção	Abatimento (mm)	
	Máximo*	Mínimo
Paredes de fundações armadas e sapatas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifício	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto massa	50	25

*Pode ser aumentada em 25mm com o uso de métodos de consolidação que não a vibração

Fonte: Mehta; Monteiro; *apud* ACI.

2.3. Agregados

2.3.1. Definição

Segundo Ribeiro (2010) o agregado é um “material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula (inerte), constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos”.

2.3.2. Origem

Os naturais de densidade média: são encontrados na natureza já fragmentados sob a forma particulada: areias de barranco, minas, rios e mar; seixos rolados ou pedregulhos extraídos das jazidas de rios, mar ou das jazidas de solos.

Os naturais de densidade leve: inorgânicos celulares granulados constituídos da matéria prima por fontes naturais como: pedras polmes, escórias vulcânicas ou tufo.

Os artificiais de densidade média: são aqueles que a matéria prima necessita ser triturada ou britada, ou seja, receber tratamento de alguma maneira para chegar a forma das partículas dos agregados miúdos e graúdos em condições apropriadas para utilização em concreto normal. Os mais conhecidos são formados através da moagem da britagem de rocha estáveis (NEVES, 2009).

2.3.3. Dimensões

Quanto a dimensões, os agregados são classificados em dois grupos. Os miúdos: areias (figura 3); os graúdos: seixo rolado, cascalho, britas (figura 4), conforme estabelecidas especificações da ABNT- NBR- 7211 e 9935.

Os agregados inorgânicos leves, celular granulado, segundo as especificações Brasileira, encontra-se em dois grupos: o grupo I, os miúdos cujos grãos passam pelo menos 98% na peneira de 4,8mm. No grupo II, os graúdos cujos grãos passam pelo menos 90% na peneira de 12,5mm, conforme os limites estabelecidos através da ABNT- NBR- 7213.

Os agregados miúdos de densidade leve, média ou alta são: a areia de origem natural ou artificial resultante do esmagamento a moagem de vermiculita expandida, rochas estáveis, minério de bário além de outros ou a mistura de todos, cujos grãos passam pelo menos 95% na peneira 4,8 mm conforme NBR-5734, a melhor definição é apresentada nas faixas dos limites granulométricos estabelecidos para agregados miúdos: areia muito fina, fina, média ou grossa, conforme as especificações da ABNT NBR - 7211 para agregado normal e pesado, quanto aos agregados leve, conforme os limites estabelecidos através da NBR-7213 (NEVES, 2009).

Figura 3- Tipos de areia quanto às dimensões.



Fonte: Grupo Aleixo.¹

N bn

¹ Figura disponível em: http://www.grupoaleixo.com/areia2/site/index2.php?p=noticias_ver&id=3. Acessado em abril de 2015.

Figura 4- Britas de dimensões variadas.



Fonte: Blog Construir.. [\(ir para rodapé\)](#)

2.3.4. Obtenção de agregados naturais

Pedregulho, seixo rolado ou cascalhado são nomes que poderão ser dados ao agregado graúdo de origem natural médio, que pode ser encontrado na natureza em jazidas de rio formadas no leito, no fundo ou nas margens dos rios, ou nas jazidas de solo, pedregulhos e arenosos na superfície, ou em maior profundidade do terreno. Este tipo de jazida é muito comum nas regiões de cerrados e desertos. Poderá obter cascalho de boa textura, resistente ao desgaste, mas, exige uma atenção especial com o teor de argila que o material poderá trazer na superfície das partículas (NEVES, 2009).

O fato é que os materiais encontrados, tanto na jazida de rio como na jazida de solo, é retirado da natureza sem sofrer processo de beneficiamento que altere suas características, porque ele já vem fragmentado, isto é, com as suas partículas definidas. O material extraído através da jazida do rio, em alguns casos não necessita passar por tratamento, processo de lavagem, apenas a classificação de tamanho. Quanto ao extraído através da jazida do solo, geralmente precisa passar por um processo mais energético de lavagem para retirar o teor de argila, pó e outras impurezas existentes que vêm envolvidas nas partículas dos grãos (NEVES, 2009).

De acordo com Neves (2009), os agregados graúdos de elevada massa específica (pesados) não são encontrados na natureza prontos para serem usados.

Ao alcance do nosso conhecimento até o momento constatamos que todos os citados necessitaram de beneficiamento para serem utilizados em concreto.

2.4. Concreto Leve Estrutural (CLE)

Segundo Rossignolo (2009), a primeira indicação conhecida da aplicação dos concretos com agregados leves data de aproximadamente 1100 a.C., quando construtores pré-colombianos, originários da região da atual cidade de El Tajin, localizada no México, utilizaram uma mistura de pedra-pomes com um ligante à base de cinzas vulcânicas e cal para a construção de elementos estruturais.

A engenharia com a evolução que lhe é inerente busca sempre novas e mais eficientes formas para aperfeiçoar os projetos e execuções de suas obras, segundo Schwantes (2012) a engenharia busca constantemente otimizar seus processos e custos, e esta busca leva a utilização de materiais alternativos para alcançar os objetivos de diminuição de custos e melhoramento de processos. Nas obras que possuem estrutura de concreto, o peso próprio pode representar uma parcela bem acentuada da carga total da construção, desta forma, uma possível redução da massa específica, e conseqüentemente da carga total torna-se de grande interesse. Assim o concreto estrutural leve pode ser uma alternativa interessante.

Segundo Rossignolo (2009), os concretos leves caracterizam-se pela redução da massa específica em relação aos concretos convencionais, conseqüência da substituição de parte dos materiais sólidos pelo ar ou por agregados leves.

Os concretos leves estruturais são obtidos pela substituição total ou parcial dos agregados convencionais por agregados leves. De modo geral, são caracterizados por apresentar massa específica aparente abaixo de 2000/kg/m³.

Conforme MEHTA e MONTEIRO (1994), CLE é um concreto estrutural em todos os sentidos, exceto que, por razões de economia do custo total, é produzido com agregados leves celulares, resultando, portanto, em um peso específico de aproximadamente dois terços do peso específico do concreto feito com agregados naturais típicos. Desde que o objetivo primordial é o baixo peso e não a resistência, as especificações limitam o peso específico máximo permissível do concreto. Uma vez que o agregado altamente poroso também tende a reduzir bastante a resistência mecânica do concreto, as especificações exigem uma resistência à compressão mínima aos 28 dias, para assegurar a qualidade estrutural do concreto. O Guia de Concreto Estrutural feito com Agregado Leve do ACI 213R-87 define concreto

estrutural com agregado leve como concretos cujas resistências à compressão apresentem valores maiores que 17 MPa e peso específico aos 28 dias, seco ao ar, abaixo de 2,20 kg/dm³. De acordo com o método ASTM C 330, os agregados leves miúdos e graúdos, não devem ter peso específico no estado solto seco maior do que 1,12 kg/dm³ e 0,88 kg/dm³, respectivamente.

2.4.1. Justificativa do uso do concreto leve estrutural

O uso do CLE traz vantagens tanto técnicas, como econômicas em relação ao concreto com agregados naturais e devido a algumas particularidades do material, como a aplicação em peças estruturais de concreto pré-moldado. CATOIA (2012) listou alguns benefícios dessa aplicação:

- Redução entre 20% a 50% dos custos de transporte, por unidade de volume de concreto;
- Possibilidade de produzir peças com dimensões maiores, utilizando os mesmos equipamentos da fábrica e do canteiro;
- Redução de 25% a 50% do tempo da moldagem

Segundo ROSSIGNOLO (2003) nas pontes de grandes vãos em concreto armado, o peso próprio da estrutura pode representar até 70% das solicitações estruturais, possibilitando o dimensionamento de seções menores e com menor área de aço. Essa redução do custo é devida ao do peso próprio reduzido da peça estrutural, tanto pela economia de concreto e aço nas vigas e lajes, quanto pela redução das solicitações nas fundações.

No Brasil o uso do concreto leve ainda se limita à fabricação de artefatos pré-moldados, além da normatização para este tipo de concreto especial ser inexistente. Ainda há diversas possibilidades de aplicações a serem exploradas, como a utilização em lajes de vãos maiores, substituindo as lajes nervuradas por lajes maciças (CATOIA, 2012) ou até melhorando o desempenho de lajes nervuradas.

O desenvolvimento de pesquisas no sentido de melhorar o desempenho de concretos leves se torna importante à medida que novas tendências em estruturas de concreto armado são cada vez mais exigentes, a partir daí encontrando fatores limitantes nos materiais utilizados.

2.4.2. Parâmetros do Concreto Leve Estrutural (CLE)

ROSSIGNOLO (2003) define a obtenção de concreto leve como a substituição total ou parcial dos agregados usuais por agregados leves. A massa específica do concreto leve deve ser menor que, em média, $2,00 \text{ kg/dm}^3$, já as normas mais rigorosas estabelecem massa específica menor que $1,85 \text{ kg/dm}^3$ (ACI 213R-87, 1997), conforme tabela 2.

Tabela 2- Documentos normativos internacionais para massa específica de um CLE.

Referência	Massa específica (kg/m^3)
RILEM (1975)	$\gamma < 2,00$
CEB-FIP (1977)	$\gamma < 2,00$
NS 3473 E (1992)	$1,20 < \gamma < 2,20$
ACI 213R-87 (1997)	$1,40 < \gamma < 1,85$
CEN prEN 206-25 (1999)	$0,80 < \gamma < 2,00$

Fonte: Rossignolo, 2003.

De acordo com o ACI 213R-87 (1997) além da limitação da massa específica, o concreto leve deve apresentar resistência à compressão axial acima de 17,2 MPa.

A NM 35 (1995) apresenta valores mínimos de resistência à compressão em virtude dos valores de massa específica aparente (tabela 3). Valores intermediários de resistência à compressão e de massa específica aparente correspondentes podem ser obtidos por interpolação. Ademais, essa norma especifica que os agregados leves utilizados na produção dos concretos estruturais devem apresentar valores de massa unitária no estado seco e solto abaixo de 1120 kg/m^3 , para agregados miúdos, e de 880 kg/m^3 , para agregados graúdos.

Tabela 3- Valores correspondentes de resistência à compressão e massa específica para concreto leve estrutural.

Resistência à compressão aos 28 dias (MPa) (Valores mínimos)	Massa específica aparente (kg/m^3) (Valores máximos)
28	1840
21	1760
17	1680

Fonte: ABNT NBR NM 35.

Com a finalidade de comparar e analisar resultados de ensaios de concreto leve estrutural (CLE) se torna necessário, como objeto de comparação, o fator de eficiência, indicado na Equação 1, definido por SPITZNER (1994) e HOLM (2000)

como um parâmetro que relaciona a resistência à compressão axial e a massa específica.

$$\text{Fator de eficiência} = \frac{f_c \text{ (MPa.dm}^3\text{.kg}^{-1}\text{)}}{r} \text{ (Equação 1)}$$

f_c = resistência a compressão em Mpa

r = Massa Específica (kg/dm³)

De acordo com SPITZNER (1994) e ARMELIN et al. (1994), é considerado como concreto leve de alto desempenho (CAD) um concreto com fator de eficiência acima de 25 MPa.dm³/kg. Este valor limite foi obtido tendo como referência um concreto com agregados tradicionais, com resistência à compressão de 60 MPa e massa específica de 2,40 kg/m³, classificado por SPITZNER (1994) como de alta resistência.

De acordo com METHA E MONTEIRO (1994) os componentes do CLAR que é um concreto leve estrutural podem ser iguais aos utilizados na produção de concretos convencionais e, em muitos casos, também em concretos especiais, porém com a adição do agregado leve, no caso, o EPS.

Muitas vezes é obrigatório utilizar um cimento disponível comercialmente na região, então o CPV ARI e o CP I são considerados as melhores escolhas na produção de um CAD, por serem os mais puros (TUTIKIAN, et al, 2011).

2.4.3. EPS

EPS é a sigla internacional do Poliestireno Expandido, de acordo com a Norma DIN ISO 1043-1. O EPS é um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água.

Como agente expensor para a transformação do EPS, emprega-se o pentano, um hidrocarbureto que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares, sem comprometer o meio ambiente.

O produto final é composto de pérolas de até 3 milímetros de diâmetro, como mostra a figura 5, que se destinam à expansão. No processo de transformação, essas pérolas são submetidas à expansão em até 50 vezes o seu tamanho original,

através de vapor, fundindo-se e moldando-se em formas diversas, possuindo massa específica entre $0,013 \text{ kg/dm}^3$ a $0,025 \text{ kg/dm}^3$ (CATOIA, 2012).

Figura 5: Pérolas de EPS.



Fonte: ISOPLAN Ltda.³³Figura disponível em: <http://isoplanltda.com.br/perolas-de-eps/> Acessado em abril de 2015. (ir para rodapé)

De acordo com a ABRAPEX (2014), expandidas, as pérolas consistem em até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno, o que o torna tão leve. Como sua massa específica está bem abaixo da especificada na norma para concretos leves estruturais ($0,88 \text{ kg/m}^3$ e $1,12 \text{ kg/m}^3$), o EPS está apto a ser utilizado como um agregado leve miúdo, conforme figura a seguir.

A figura 6 ilustra um concreto leve com EPS.

Figura 6- Concreto leve com EPS.



Fonte: AVS Tecnologia em Concreto Leve.⁴Figura disponível em: <http://www.avskoncretoleve.com.br/conteudo?Pag=18>. Acessado em maio de 2015. (ir para rodapé)

As características desse material são: alta dureza, alta rigidez, baixo custo, valores elevados de resistência à tração, inodoro, insípido e atóxico e possui uma pequena absorção de umidade (ANDRADE, 2010).

O uso de EPS como agregado em concretos de baixa massa específica pode resultar na redução do peso próprio das edificações, além de ser um material de baixíssimo custo pela possibilidade de reaproveitamento, tornando-se vantajoso para órgãos como prefeituras que contam com a coleta seletiva de lixo, podendo utilizar o EPS moído na produção de concreto para fins não estruturais (ABRAPEX, 2014).

Uma outra vantagem deste projeto é a redução de resíduos sólidos oriundos da construção civil, já que o EPS utilizado será reciclado, ou seja, recolhido dos despejos da construção civil. Visto que a questão dos resíduos sólidos da construção civil tem sido um assunto constante atualmente, devido ao grande volume de resíduos produzidos nas obras e o seu descarte inadequado.

Com a reutilização do EPS na produção de concretos haverá uma contribuição com a sustentabilidade, tendo em vista que o concreto é um material de grande utilização, grande parte do EPS descartado da construção civil pode ser reutilizado quando possível.

Pode-se afirmar que o concreto leve possui características térmicas isolantes, devido à estrutura celular dos agregados leves que contém ar aprisionado, reduzindo assim, a absorção e transferência de calor no concreto (HOLM & BREMNER, 2000 apud CATOIA, 2012).

A Tabela 4 compara algumas propriedades térmicas do concreto leve em relação ao concreto convencional.

Tabela 4- Propriedades térmicas dos concretos leves.

Propriedades	Concreto com agregados leves	Concreto com agregados convencionais
Massa específica (kg/m ³)	1850	2400
Resistência à compressão (MPa)	20 -50	20 -70
Calor específico (cal/g. C)	0,23	0,22
Condutividade térmica (W/m.K)	0,58 – 0,86	1,4 – 2,9
Difusão térmica(m ² /h)	0,0015	0,0025 – 0,0079
Expansão térmica (10-6/ C)	9	11

Fonte: Holm e Ferrara, 2000; apud Rossignolo,2003.

De acordo com BERRA e FERRARA (1990) apud AİTCIN (2000), as propriedades térmicas do concreto leve (dilatação térmica, condutividade térmica e difusão térmica) aliadas o baixo módulo de elasticidade, resultam em uma maior resistência à tensões térmicas que o concreto de massa normal.

Além das propriedades térmicas, o EPS apresenta muitas outras vantagens, é um material 100% reciclável e reaproveitável, é totalmente inodoro, não contamina o solo e nem o ar e pode voltar a condição de matéria prima. Além disso ele possui resistência mecânica e química, resistência à umidade e ao envelhecimento, leveza e facilidade de manipulação.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho tem como objetivo produzir um material que possa ser classificado como CLE a partir de um traço referência (T-0) de Concreto de Alto Desempenho (CAD) descrito por ACI SP-154, 1995 *apud* METHA e MONTEIRO, conforme a tabela 5.

Tabela 5: Dosagem do traço referência de CAD

Materiais	Relação em massa	Quantidade (kg/m ³)
Cimento	1	416
Sílica	0,08	34
Agregado Miúdo	1,77	737
Agregado Graúdo	2,47	1030
Água	0,36	153
Aditivo	0,0072	3

Fonte: Metha; Monteiro; *apud* ACI SP-154, 1995.

As características físicas obtidas do traço de CAD descrito por ACI SP-154, estão descritas na tabela 6.

Tabela 6: Características físicas do traço de CAD.

Idade	Resistência à Compressão Axial (MPa)	Abatimento do Tronco de Cone (cm)
1	35	20
3	52	
28	82	

Fonte: Metha; Monteiro; *apud* ACI SP-154, 1995.

A fim de se determinar a dosagem ótima de pérolas de EPS, primeiramente foi determinado um traço referência, sem adição de EPS, a partir do qual foram adicionadas diferentes quantidades de pérolas de EPS gradativamente, conforme SILVA *et al.* (2014), a fim de diminuir a massa específica do concreto, conforme tabela 7.

Tabela 7: Dosagem de EPS em função do volume de cimento Portland.

Traço	Massa de pérolas de EPS (g)	Volume de pérolas de EPS (m ³)	Volume proporcional ao cimento	Porcentagem de EPS em função do volume de cimento
T-0	0	0	0	0
T-1	100	0,009	1,43	143%
T-2	200	0,02	2,86	286%
T-3	400	0,04	5,73	576%

Fonte: Autor.

Foi feito ensaio de abatimento de tronco de cone (figura 7), conforme NBR NM 67/1998, depois foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões 100x200 mm conforme figura abaixo, de acordo com NBR 5738/2003 para os ensaios de compressão axial que também serão ensaiados de acordo com a NBR 5739/2007, e corpos de prova com dimensões 150x300mm para ensaios de tração por compressão diametral segundo a NBR 7222/2011.

Figura 7: Abatimento do tronco de cone em laboratório.



Fonte: Autor.

Todos os corpos de prova foram moldados com o auxílio dos técnicos do laboratório de materiais. Após a moldagem foram colocados em repouso sobre uma superfície plana em um ambiente aberto à temperatura ambiente. A figura 8 mostra um corpo de prova sendo moldado.

Figura 8- Corpo de prova.



Fonte: Autor.

A quantidade de corpos de prova moldados para cada traço estão descritos na tabela 8.

Tabela 8: Quantidade de corpos de prova a serem ensaiados por idade

Tipo de Ensaio	Quantidade de CP's a serem ensaiados por idade (dias)			
	3	7	14	28
Compressão Axial	2	2	2	2
Compressão Diametral	-	-	-	2
Absorção de Água	3	3	3	3

Fonte: Autor

Os ensaios de resistência a compressão e de tração diametral foram realizados no laboratório de materiais e estruturas do Ceulp/Ulbra, na prensa PC 200 L EMIC com capacidade de resistência de 200 toneladas (figura 9). A figura 10 mostra um corpo de prova após o ensaio.

Figura 9- Prensa hidráulica EMIC.



Fonte: EMIC.⁵ Figura disponível em:

http://www.emic.com.br/Produtos+Mostra/4/8/21/Prensa+Hidraulica+de+acionamento+manual+e+indicador+digital+de+leitura+_+modelo+PCM100C/. Acessado em maio de 2015. (ir para rodapé)

Figura 10- Corpo de prova após ensaio de resistência a compressão.



Fonte: Autor.

As superfícies dos corpos foram retificadas em retífica manual e também todos os corpos de prova foram adensados com vibrador de agulha. Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados, pesados e mergulhados em água para passar pelo processo de cura, que nessa pesquisa foi feito de forma submersa em tanque com água, este processo durou até a realização dos ensaios.

Após período de cura os corpos de prova foram ensaiados quanto a resistência a compressão nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias.

Foram realizados também ensaio de absorção de água por imersão conforme NBR 9778/2009 para diagnosticar se há influencia na absorção do concreto leve com adição de EPS e determinação da massa específica.

Além de todos os citados acima, também foram realizados ensaios de caracterização dos materiais que utilizou-se no concreto da pesquisa. São eles:

- Determinação da massa específica do agregado miúdo. (NBR NM 52:2009).
- Determinação da massa específica do agregado graúdo. (NBR NM 53:2009).
- Determinação da massa unitária do agregado miúdo e graúdo. (NBR NM 45:2006).
- Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo e graúdo (NBR NM 248:2003)
- Classificação dos agregados miúdos e graúdos (NBR 7211:2009).

Todos os procedimentos dessa pesquisa obedeceram às normas vigentes.

3.1. Materiais utilizados e suas propriedades

Para o desenvolvimento do trabalho foram adotados materiais encontrados na região de Palmas/TO.

3.1.1. Cimento

Foi utilizado o cimento Portland tipo CPV ARI (Alta Resistência Inicial), fabricado pela Cimentos Planalto – CIPLAN.

3.1.2. Areia

Foi adotada areia da região de Palmas doada pela Castelo Forte Materiais para Construção extraída pela Mineração Capital. Suas características podem ser observadas na tabela 9.

Tabela 9: Características físicas da areia.

Características físicas da areia	
Massa específica (NBR NM 52:2009)	2660kg/m ³
Massa unitária (NBR NM 45:2006)	1,42kg/dm ³
Dimensão máxima característica (NBR NM 248:2003)	4,8mm
Classificação (NBR 7211:2009)	Areia média

Fonte: Autor.

3.1.3. Brita

A brita utilizada foi doada pela Castelo Forte Materiais para Construção, suas características estão dispostas na tabela 10.

Tabela 10: Características físicas da brita.

Características físicas da brita	
Massa específica (NBR NM 53:2009)	2710kg/m ³
Massa unitária (NBR NM 45:2006)	1,35 kg/dm ³
Dimensão máxima característica (NBR NM 248:2003)	19,0mm
Classificação (NBR 7211:2009)	Brita 1
Classificação mineralógica	Granítica

Fonte: Autor.

3.1.4. Sílica Ativa

A sílica ativa utilizada foi fornecida pela empresa Silmix, é um produto resultante do processo de fabricação do silício metálico ou do ferro-silício, que gera o gás SiO, que ao sair do forno oxida-se formando o dióxido de silício (SiO₂). As características físicas e químicas da sílica ativa estão dispostas na tabela 11.

Tabela 11: Características físicas e químicas da sílica ativa.

Características físicas e químicas da sílica ativa	
Massa específica	2220 kg/m ³
Formato de partícula	Esférico
Diâmetro médio	0,2µm
Teor de SiO ₂	Mín. 85%
Umidade	Máx. 3%

Fonte: Silmix

3.1.5. Aditivo superplastificante

Foi utilizado o aditivo superplastificante Sika ViscoCrete® 3535 CB. De acordo com a ficha técnica do produto, é classificado como um aditivo superplastificante de pega normal, de terceira geração, composto basicamente por uma solução de policarboxilato em meio aquoso. É um líquido viscoso de cor castanho, com massa específica entre 1060 kg/m³ à 1100 kg/m³, e pH de 4 à 6.

3.1.6. EPS

O EPS utilizado foi recolhido dos despejos da obra do Ibis Hotel da construtora Inovatec em Palmas-TO, em que o fornecedor é a Isoeste Indústria e Comércio de Isolantes Térmicos Ltda. De acordo com o laudo técnico do produto fornecido pela Isoeste, é classificado como tipo F segundo especificação BF216 da BASF (Badische Anilin und Soda-Fabrik), que é uma empresa química alemã. Esta especificação contempla a presença de retardante a chama na composição da matéria prima fornecida pela BASF. A massa específica do EPS é 11kg/m³ e sua condutividade térmica é de 0,025 kcal/h.m².C.

A granulometria do EPS fica em torno de 0,5cm, e seu formato é em sua grande maioria esférico, como pode ser observado na figura 11.

Figura 11: Pérolas de EPS.



Fonte: Autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Massa Específica

Com a adição de EPS, houve uma redução da massa específica do concreto, conforme esperado, como mostra a tabela 12.

Tabela 12: Massa específica em função do EPS.

Traço	Dosagem de EPS (m ³)	Massa Específica (kg/dm ³)
T-0	0	2,42
T-1	0,0091	2,30
T-2	0,02	2,05
T-3	0,04	1,84

Fonte: Autor.

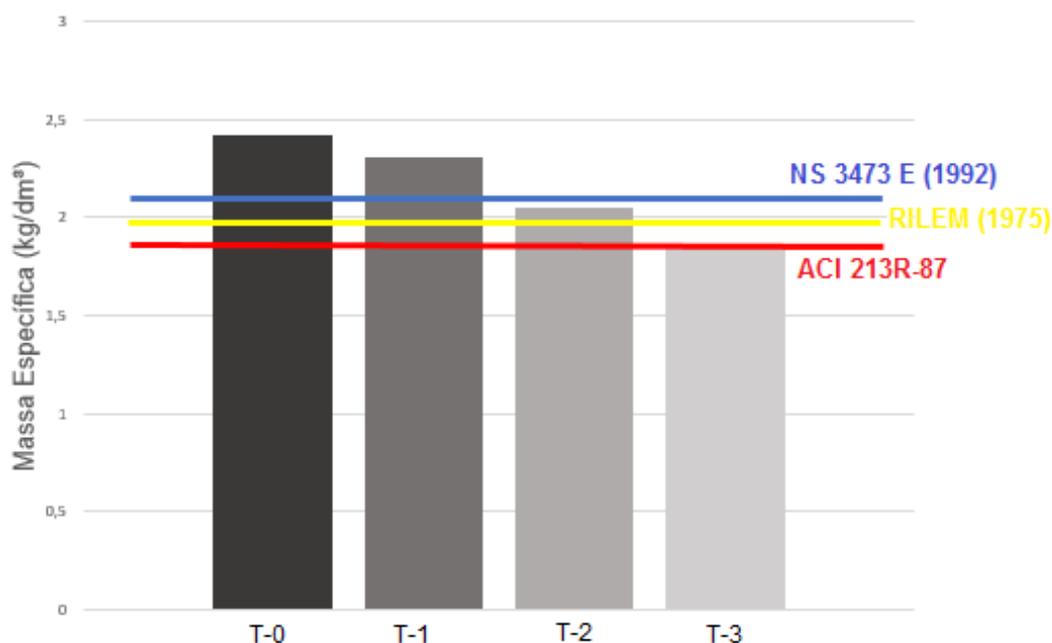
No entanto, nem todos os traços atingiram as especificações para serem considerados concretos leves, de acordo com a NS 3473 E (1992) que especifica concretos com massa específica abaixo de 2,2 kg/dm³, o T-2 e o T-3 são leves; em relação a RILEM (1975) somente o T-3 é considerado leve, pois especifica massa específica menor que 2,0kg/dm³; e segundo o ACI 213R-87, somente o T-3 é leve, pois apresenta massa específica inferior à 1,85 kg/dm³, conforme tabela 13 e figura 12.

Tabela 13: Comparativo das massas específicas obtidas com os documentos normativos internacionais.

Referência	Massa específica (kg/dm ³)	Traços que se encaixam nas referências
RILEM (1975)	<2,00	T-3
ACI 213R-87 (1997)	1,40 - 1,85	T-3
NS 3473 E (1992)	1,20 - 2,20	T-2 e T-3

Fonte: Autor.

Figura 12: Comparativo das massas específicas em relação aos limites (ACI 213R-87, NS 3473 E, RILEM)



Fonte: Autor.

Ainda que nem todos os traços atingiram os parâmetros mínimos para serem considerados leves, aconteceu o que se esperava, quanto maior o teor de EPS, menor foi a massa específica do concreto.

4.2. Abatimento do Tronco de Cone (Slump Test)

Devido à baixa massa específica dos agregados leves, no caso do abatimento de tronco de cone, os concretos leves apresentam um abatimento menor que os concretos convencionais, devido essencialmente à menor deformação do concreto leve pela gravidade (NM 67/1998), conforme tabela 14.

Tabela 14: Slump test em relação ao teor de EPS.

Traço	Dosagem de EPS (g)	Slump Test (mm)
T-0	0	70
T-1	100	60
T-2	200	60
T-3	400	40

Fonte: Autor.

A figura 13 mostra o abatimento do tronco de cone do traço T-0, que foi de 7cm. Observa-se que o EPS diminuiu consideravelmente o abatimento do concreto,

que define sua trabalhabilidade, portanto aumentando o teor de EPS no concreto e mantendo o fator água/cimento o resultado será um concreto menos trabalhável.

Figura 13: Slump test do traço sem adição de EPS.



Fonte: Autor.

A tabela 15 mostra os valores de abatimento recomendados pelo ACI, para vários tipos de construções.

Tabela 15: Valores de abatimento recomendados pelo ACI.

Tipos de Construção	Abatimento (mm)	
	Máximo*	Mínimo
Paredes de fundações armadas e sapatas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifício	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto massa	50	25

*Pode ser aumentada em 25mm com o uso de métodos de consolidação que não a vibração

Fonte: Mehta; Monteiro; *apud* ACI.

Observando os valores de abatimento recomendados para peças estruturais, pode-se afirmar que mesmo que nenhum traço tenha atingido a abatimento do concreto original, que era de 200mm, todos os abatimentos obtidos estão dentro das recomendações do ACI. A tabela 16 mostra os valores de abatimento obtidos e compara com o intervalo de abatimento recomendado para peças estruturais.

Tabela 16: Valores de abatimento dos traços estudados e intervalo de abatimento recomendado para peças estruturais.

Traço	Abatimento (mm)	Intervalo de Abatimento para Peças Estruturais (mm)
T-0	70	25 - 100
T-1	60	
T-2	60	
T-3	40	

Fonte: Autor.

4.3. Ensaio de Resistência

4.3.1. Resistência à Compressão Axial

Como já era esperado com o aumento do teor de EPS houve uma redução na resistência à compressão do concreto. Para o estudo dos dados foi feita uma análise estatística e desenvolvido um gráfico de dispersão dos dados e uma função matemática para cada idade de ensaio dos corpos de prova.

A figura 14 mostra os corpos de prova dos traços T-1, T-2 e T-3, após o ensaio de resistência à compressão axial.

Figura 14: Corpos de prova após ensaio de resistência à compressão axial, T-1, T-2 e T-3 respectivamente da esquerda para direita.



Fonte: Autor.

Os resultados obtidos de resistência à compressão axial com idade de 3 dias podem ser observados na tabela 17, e a dispersão dos dados juntamente com a função matemática do tratamento conforme figura 15.

Tabela 17: Dispersão estatística da resistência à compressão axial aos 3 dias.

Traço	Corpos de Prova (MPa)		Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)	Margem de Erro (MPa)	Índice de Confiança (95%)		
	CP 1	CP 2					Lmín (MPa)	Lmáx (MPa)	
T-0	40,1	39,6	39,85	0,4	0,89	3,2	36,7	43,0	A
T-1	35,1	32,7	33,90	1,7	5,01	15,2	18,7	49,1	A
T-2	15,4	15,7	15,55	0,2	1,36	1,9	13,6	17,5	B
T-3	10,5	10,9	10,70	0,3	2,64	2,5	8,2	13,2	C

Fonte: Autor.

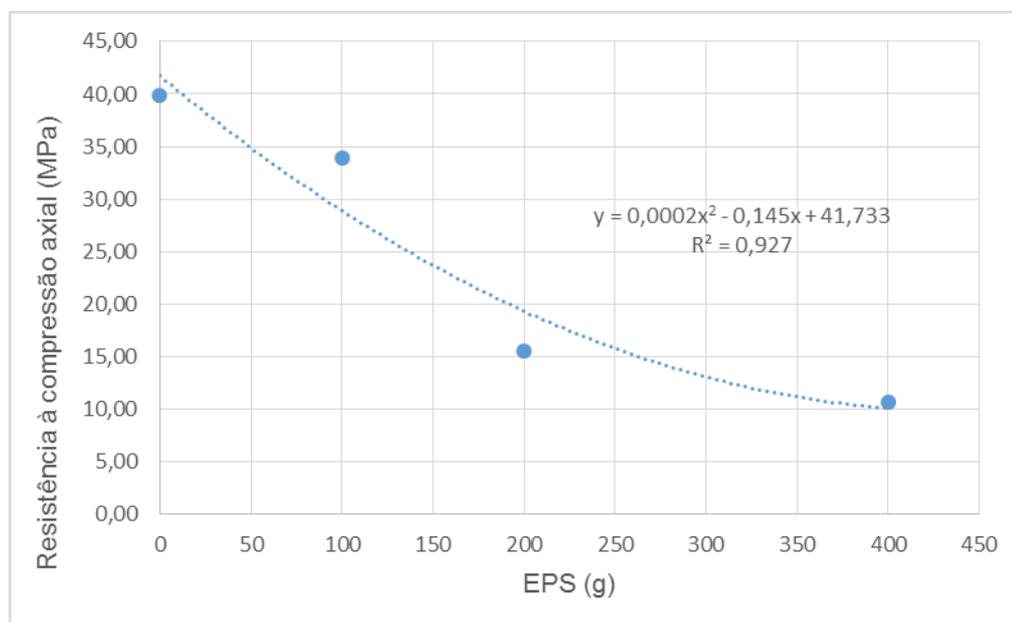
Observando os dados encontrados na dispersão pode-se analisar os resultados mais estatisticamente. O desvio padrão nos mostra o quanto de variação

houve em relação à média, portando observando os valores encontrados o desvio padrão da resistência à compressão aos 3 dias foi relativamente baixo, tendo uma variação um pouco maior somente no T-1. O coeficiente de variação é a razão entre o desvio padrão e a média multiplicado por 100 para se obter em porcentagem, então sem EPS (T-0) os desvios em relação à média atinge 0,89%, o T-1 atinge 5,01%, o T-2 atinge 1,36% e o T-3 atinge 2,64%.

A margem de erro expressa o quanto de erro de amostragem existe no resultado da pesquisa, foi trabalhado com um índice de confiança de 95%, a margem de erro foi maior no T-1, o que resultou num intervalo muito grande entre o limite mínimo e máximo das resistências.

Observando os intervalos pode-se afirmar que os tratamentos T-0 e T-1 não se diferenciaram estatisticamente, ou seja, estão contidos em um mesmo intervalo, e já os tratamentos T-2 e T-3 se diferenciaram de todos os outros, essa análise é representada pelas letras na lateral direita da tabela 14, os tratamentos que tem a mesma letra não se diferenciam, e os que possuem letras diferentes se diferenciam estatisticamente.

Figura 15: Dispersão polinomial dos dados de resistência à compressão axial aos 3 dias.



Fonte: Autor.

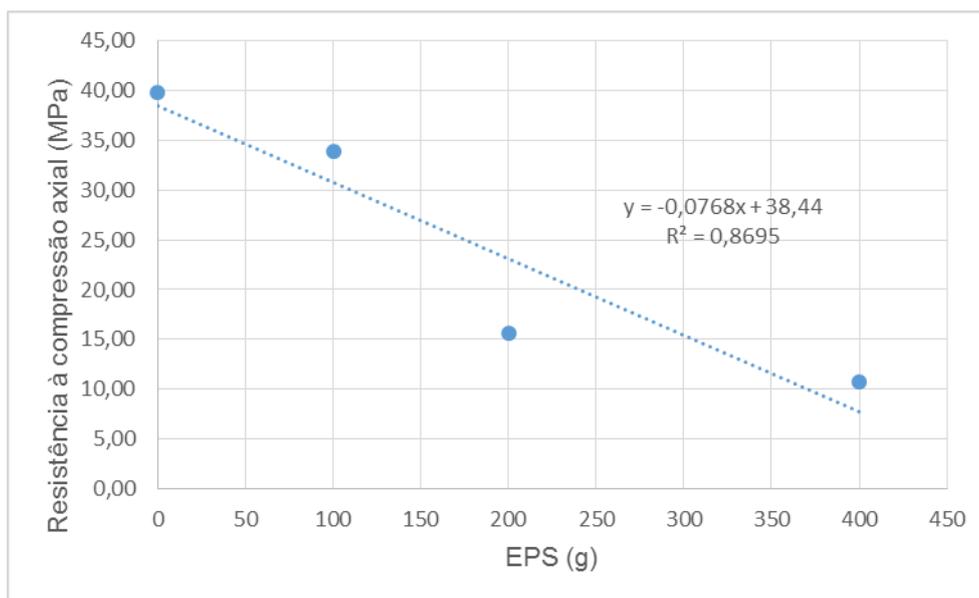
Do ponto de vista estritamente estatístico, considerando somente o intervalo de 0 a 400g de EPS a regressão que mais se adequou a dispersão dos dados foi a polinomial, pois os pontos se aproximavam mais de uma curva. E a função

matemática que expressa essa regressão é dada por: $y = 0,0002x^2 - 0,145x + 41,733$.

O coeficiente de explicação (R^2) indica quantos por cento a variação explicada pela regressão representa da variação total, quanto mais próximo de 1 for o R^2 mais próximo de 100% os pontos estarão sobre a linha de regressão. Neste caso o R^2 encontrado foi de 0,927, ou seja, 92,7% das variações de y são explicadas pelas variações de x através da função encontrada.

Do ponto de vista estatístico, a dispersão polinomial se ajusta melhor aos pontos, mas do ponto de vista técnico e real, a dispersão linear seria mais adequada. Observando a dispersão polinomial nota-se que se a curva tende a ser uma assíntota, ou seja, ela estabiliza; e na realidade se dobrar a quantidade de EPS a resistência tende a cair mais como mostra a figura 16, e não a se manter.

Figura 16: Dispersão linear dos dados de resistência à compressão axial aos 3 dias.



Fonte: Autor.

Na dispersão linear a função matemática que expressa a regressão é dada por: $y = -0,0768x + 38,44$. O coeficiente de explicação (R^2) neste caso cai para 0,8695, ou seja 86,95% das variações de y são explicadas pelas variações de x através da função encontrada.

Os resultados obtidos de resistência à compressão axial com idade de 7 dias podem ser observados na tabela 18, e a dispersão dos dados juntamente com a função matemática do tratamento conforme figura 17.

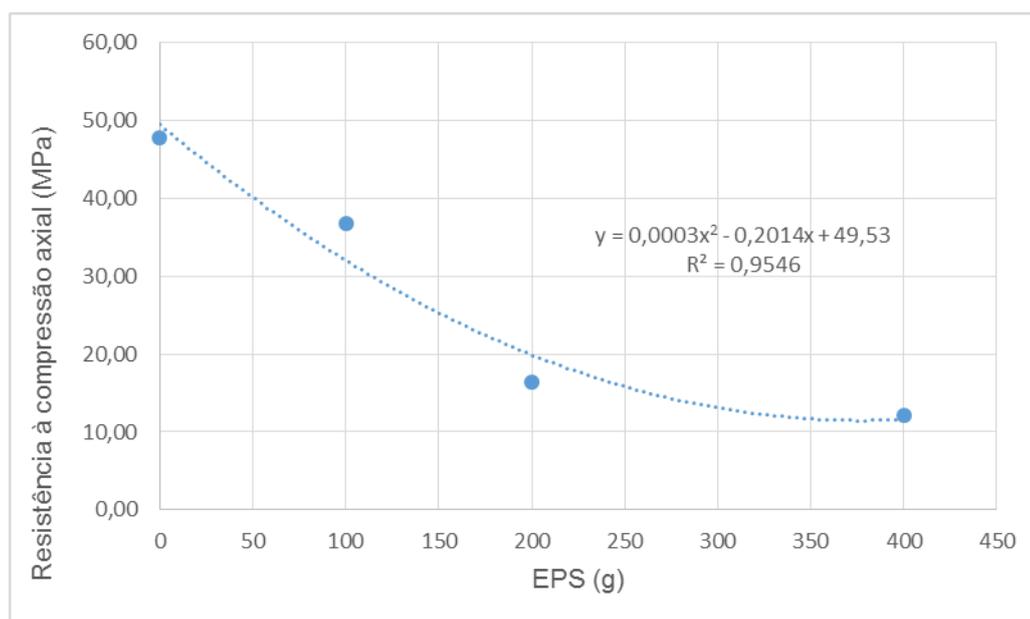
Tabela 18: Dispersão estatística da resistência à compressão axial aos 7 dias.

EPS (g)	Corpos de Prova (MPa)		Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)	Margem de Erro (MPa)	Índice de Confiança (95%)		
	CP 1	CP 2					Lmín (MPa)	Lmáx (MPa)	
T-0	45,9	49,6	47,75	2,6	5,48	23,5	24,2	71,3	A
T-1	36,2	37,4	36,80	0,8	2,31	7,6	29,2	44,4	A
T-2	17,6	15,1	16,35	1,8	10,81	15,9	0,5	32,2	A
T-3	11,9	12,5	12,20	0,4	3,48	3,8	8,4	16,0	A

Fonte: Autor.

De acordo com os dados encontrados na tabela 18, o desvio padrão foi baixo e uniforme em relação aos quatro tratamentos. Já o coeficiente de variação aumentou em relação ao de 3 dias, no T-0 os desvios em relação à média atinge 5,48%, no T-1 atinge 2,31%, no T-2 atinge 10,81% e no T-3 atinge 3,48%.

A margem de erro foi significativa principalmente no tratamento T-0 e T-2, resultando em grandes intervalos entre o limite mínimo e máximo. Os tratamentos não possuem diferença estatística entre eles, pois todos os intervalos se sobrepõem, como indica as letras na lateral direita da tabela 14.

Figura 17: Dispersão polinomial dos dados de resistência à compressão axial aos 7 dias.

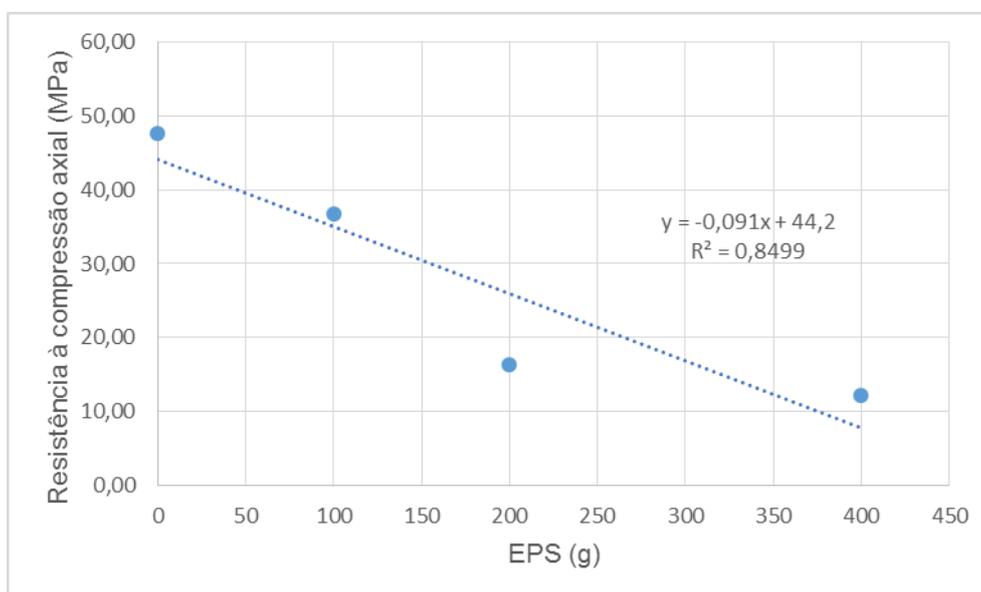
Fonte: Autor.

Para o intervalo de 0 a 400g de EPS a regressão mais adequada para a dispersão dos dados de sete dias também foi a polinomial, e a função matemática que representa essa curva é dada por: $y = 0,0003x^2 - 0,2014x + 49,53$.

O coeficiente de explicação encontrado foi de 0,9546, ou melhor, 95,46% das variações de y são explicadas pelas variações de x através da função encontrada.

Assim como nos resultados aos 3 dias, aos 7 dias estatisticamente a regressão polinomial se ajusta melhor aos pontos, mas tecnicamente a regressão linear explica melhor o que acontece quando se adiciona EPS no concreto, conforme a figura 18.

Figura 18: Dispersão linear dos dados de resistência à compressão axial aos 7 dias.



Fonte: Autor.

A função que representa a regressão linear dos dados é dada por: $y = -0,091x + 44,2$. O coeficiente de explicação que representa estes dados também é menor em relação a regressão polinomial, sendo 0,8499, portanto 84,99% das variações de y são explicadas pelas variações de x através da função encontrada.

Os resultados obtidos de resistência à compressão axial com idade de 14 dias podem ser observados na tabela 19, e a dispersão dos dados juntamente com a função matemática e o coeficiente de explicação do tratamento conforme figura 19.

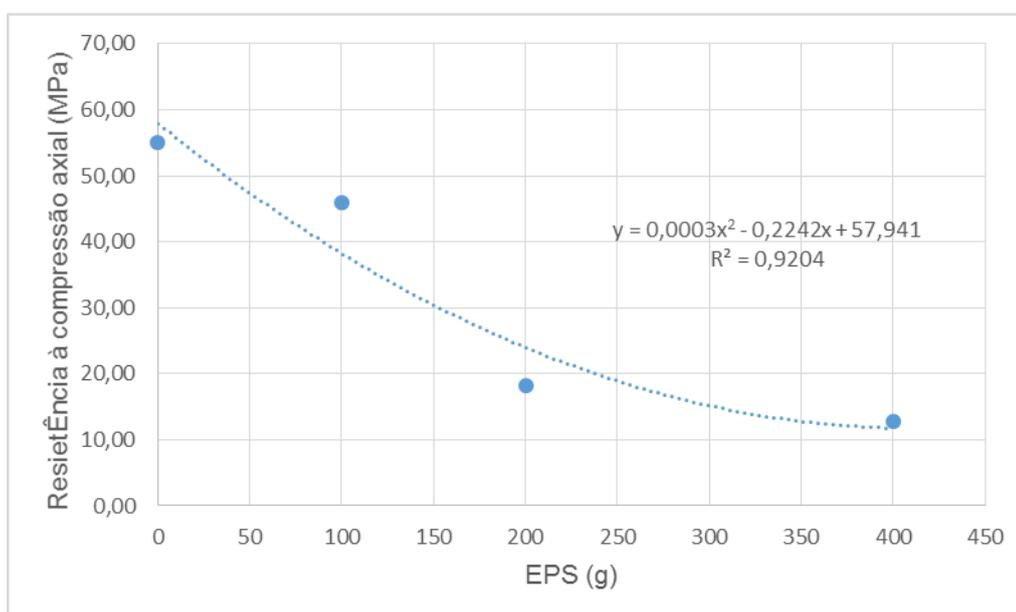
Tabela 19: Dispersão estatística da resistência à compressão axial aos 14 dias.

EPS (g)	Corpos de Prova (MPa)		Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)	Margem de Erro (MPa)	Índice de Confiança (95%)		
	CP 1	CP 2					Lmín (MPa)	Lmáx (MPa)	
T-0	54,3	55,8	55,05	1,1	1,93	9,5	45,5	64,6	A
T-1	46,5	45,4	45,95	0,8	1,69	7,0	39,0	52,9	A
T-2	18,6	17,8	18,20	0,6	3,11	5,1	13,1	23,3	B
T-3	12,6	12,9	12,75	0,2	1,66	1,9	10,8	14,7	B

Fonte: Autor.

Conforme dados da tabela 19, o desvio padrão apresentou-se baixo e uniforme. O coeficiente de variação também foi considerado baixo: sem EPS (T-0) os desvios em relação à média atinge 1,93%, no T-1 atinge 1,69%, no T-2 atinge 3,111% e no T-3 atinge 1,66%.

A margem de erro foi mediana, variando de 1,9 à 9,5MPa. Observando os intervalos entre os limites mínimos e máximos dos tratamentos, pode-se afirmar que os tratamentos T-0 e T-1 não se diferem estatisticamente, mas se diferem dos tratamentos T-2 e T-3, mas estes também não se diferenciam entre si. Isto pode ser observado pelas letras dispostas na lateral esquerda da tabela 15.

Figura 19: Dispersão polinomial dos dados de resistência à compressão axial aos 14 dias.

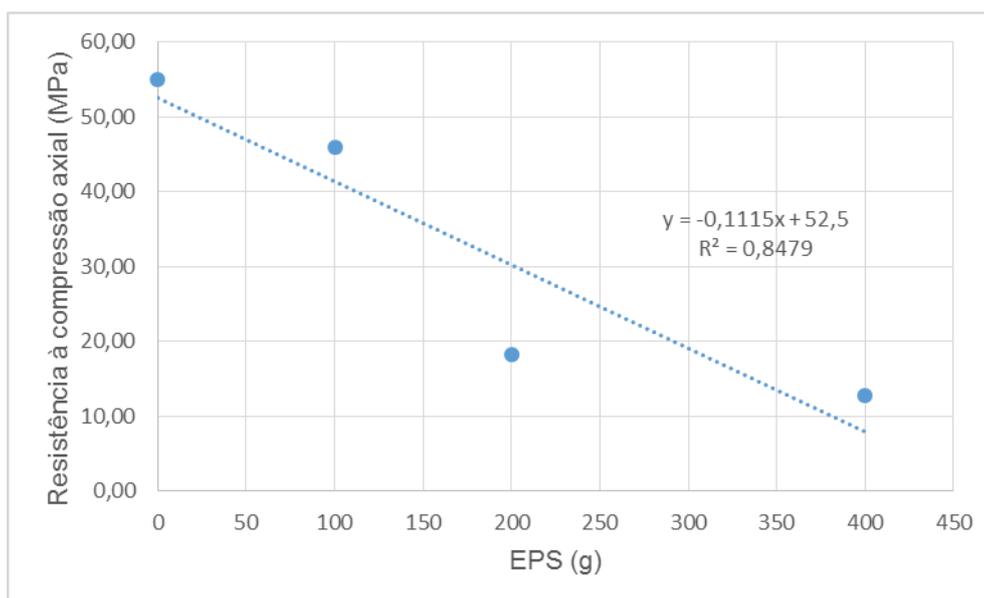
Fonte: Autor.

Considerando o intervalo de EPS de 0 à 400g, a regressão mais adequada continua sendo a polinomial, e a função matemática que representa melhor os dados é dada por: $y = 0,0003x^2 - 0,2242x + 57,941$.

O coeficiente de explicação encontrado para a regressão foi de 0,9204, ou seja, 92,04% das variações de y são explicadas pelas variações de x através da função encontrada.

Novamente a regressão polinomial se adequa melhor aos pontos, se tratando de estatística, mas na realidade a regressão linear possui uma veracidade maior tecnicamente, aumentando a quantidade de EPS a resistência à compressão tende a diminuir, conforme figura 20.

Figura 20: Dispersão linear dos dados de resistência à compressão axial aos 14 dias.



Fonte: Autor.

A função que representa a regressão linear dos dados obtidos aos 14 dias é dada por: $y = -0,1115x + 52,5$. E o coeficiente de explicação é novamente menor que o da regressão polinomial, é de 0,8479, ou seja, 84,79% das variações de y são explicadas pelas variações de x através da função encontrada.

Os resultados obtidos de resistência à compressão axial com idade de 28 dias podem ser observados na tabela 20, e a dispersão dos dados juntamente com a função matemática e o coeficiente de explicação do tratamento conforme figura 21.

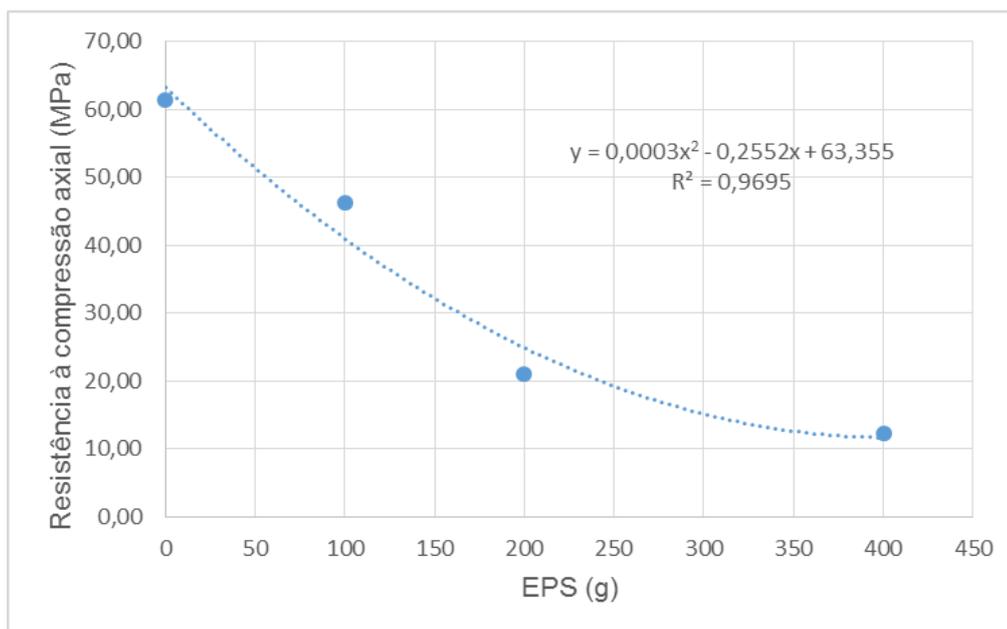
Tabela 20: Dispersão estatística da resistência à compressão axial aos 28 dias.

EPS (g)	Corpos de Prova (MPa)		Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)	Margem de Erro (MPa)	Índice de Confiança (95%)		
	CP 1	CP 2					Lmín (MPa)	Lmáx (MPa)	
T-0	59,6	63,2	61,40	2,5	4,15	22,9	38,5	84,3	A
T-1	47,3	45,1	46,20	1,6	3,37	14,0	32,2	60,2	A
T-2	21,3	20,7	21,00	0,4	2,02	3,8	17,2	24,8	B
T-3	11,7	12,9	12,30	0,8	6,90	7,6	4,7	19,9	B

Fonte: Autor.

Conforme os dados apresentados na tabela 20, o desvio padrão apresentou-se baixo e uniforme. Já o coeficiente de variação não foi considerado baixo: no T-0 os desvios em relação à média atinge 4,15%, no T-1 atinge 3,37%, no T-2 atinge 2,02% e no T-3 atinge 6,90%.

A margem de erro foi alta, variando de 3,8 à 22,9MPa. Observando os intervalos entre os limites mínimos e máximos dos tratamentos, pode-se afirmar que os tratamentos T-0 e T-1 não se diferem estatisticamente, mas se diferem dos tratamentos T-2 e T-3, mas estes também não se diferenciam entre si. Isto pode ser observado pelas letras dispostas na lateral esquerda da tabela 17.

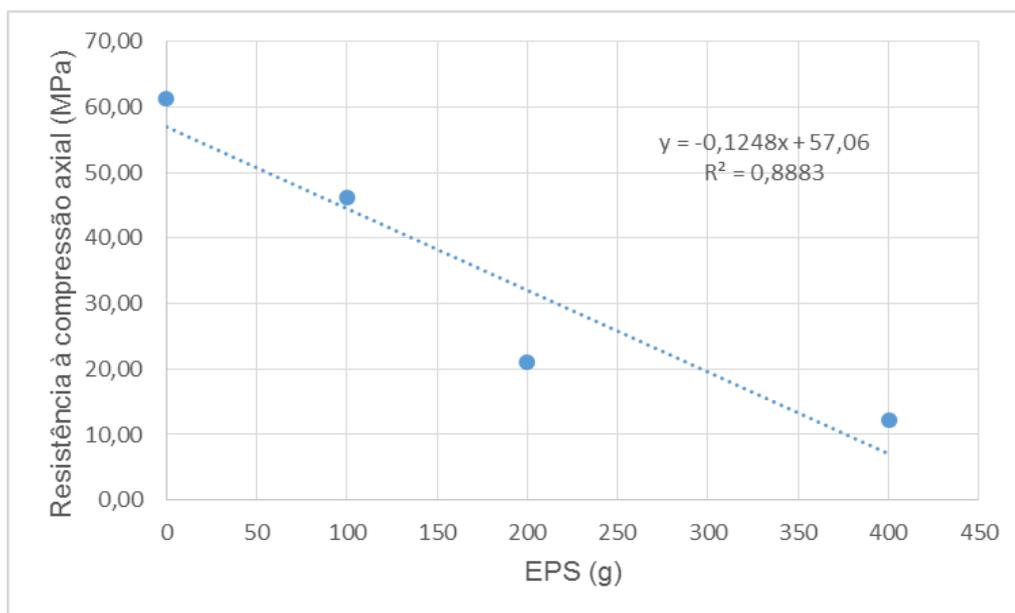
Figura 21: Dispersão polinomial dos dados de resistência à compressão axial aos 28 dias.

Fonte: Autor.

Considerando o intervalo de EPS de 0 à 400g, a regressão mais adequada continua sendo a polinomial, e a função matemática que representa melhor os dados é dada por: $y = 0,0003x^2 - 0,2552x + 63,355$.

O coeficiente de explicação encontrado para a regressão foi de 0,9695, ou seja, 96,95% das variações de y são explicadas pelas variações de x através da função encontrada.

Novamente a regressão polinomial se adequa melhor aos pontos, se tratando de estatística, mas na realidade a regressão linear possui uma veracidade maior tecnicamente, aumentando a quantidade de EPS a resistência à compressão tende a diminuir, conforme figura 22.

Figura 22: Dispersão linear dos dados de resistência à compressão axial aos 28 dias.

Fonte: Autor.

A função que representa a regressão linear dos dados obtidos aos 28 dias é dada por: $y = -0,1248x + 57,06$. E o coeficiente de explicação é novamente menor que o da regressão polinomial, é de 0,8883, ou seja, 88,83% % das variações de y são explicadas pelas variações de x através da função encontrada.

Os resultados das idades avaliadas corroboram as tendências estatísticas e experimentais apresentadas, o que indica que a moldagem e ensaio dos corpos de prova seguiram um padrão de qualidade.

Na figura 23, temos um corpo de prova do traço T-3 após ensaio de resistência à compressão axial, observa-se que em torno de 50% do concreto foi preenchido pelo EPS, esta pode ser uma das possíveis causas da grande queda na resistência do concreto.

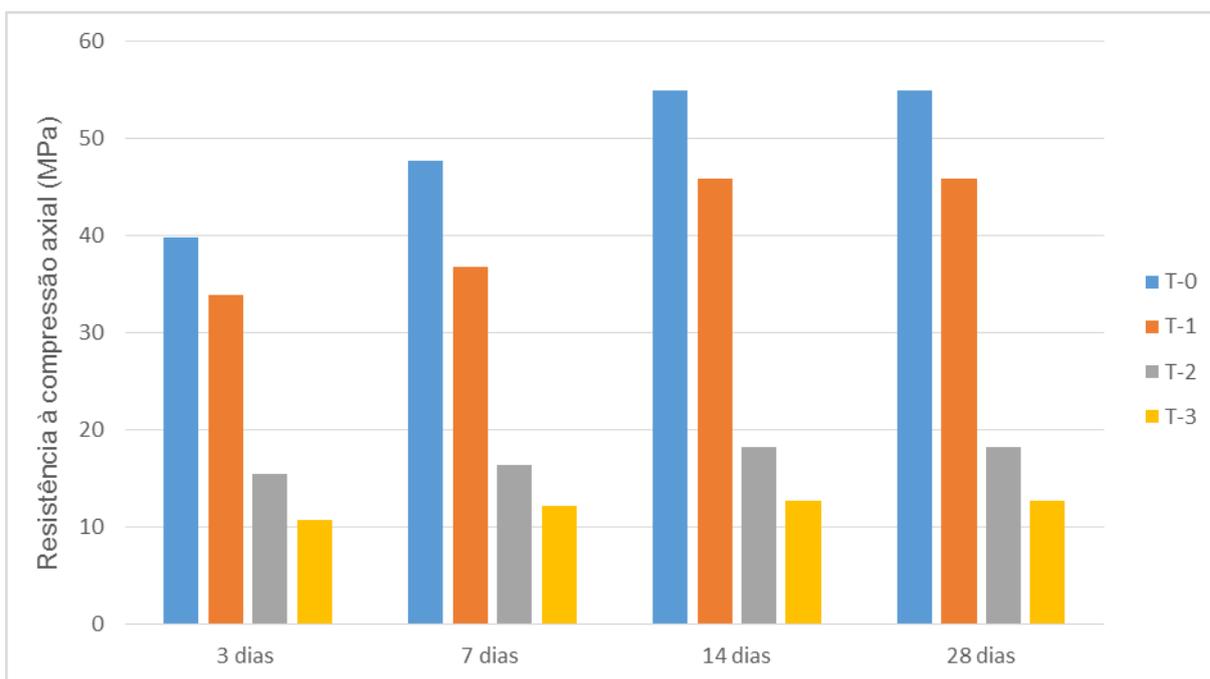
Figura 23: Corpo de prova do traço T-3 após ensaio de resistência à compressão axial.



Fonte: Autor.

Na figura 24 é possível observar a variação da resistência em cada traço e nas diferentes idades.

Figura 24: Resistência à compressão axial de cada traço por idades.



Fonte: Autor.

Ainda em relação a resistência à compressão a axial, o T-3 foi o único concreto que não pôde ser considerado estrutural, pois apresentou resistência à compressão aos 28 dias de apenas 12,3MPa, sendo inferior ao mínimo que é de 17,2MPa.

4.3.2. Resistência à Tração por Compressão Diametral

Assim como a resistência à compressão axial, a resistência à tração por compressão diametral também tende a diminuir com a adição de agregados leves. Os resultados obtidos por este ensaio estão dispostos na tabela 21.

Tabela 21: Resistência à tração por compressão diametral em função do EPS.

Traço	Dosagem de EPS (g)	Resistência à Tração por Compressão Diametral (MPa)
T-0	0	6,71
T-1	100	4,81
T-2	200	2,17
T-3	400	1,37

Fonte: Autor.

A figura 25 mostra um corpo de prova após o ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

Figura 25: Corpo de prova após ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: Autor.

4.4. Fator de Eficiência

O fator de eficiência do concreto (FE) consiste na razão entre a resistência à compressão e a massa específica aparente. Não existe um parâmetro para o

concreto leve estrutural, somente para o concreto leve de alto desempenho que de acordo com Spitzner (1994) e Armelin et al. (1994) deve ser superior à $25\text{MPa}\cdot\text{dm}^3/\text{kg}$. Os valores de FE podem ser observados na tabela 22.

Tabela 22: Fator de Eficiência

Traço	Resistência à Compressão Axial aos 28 dias (MPa)	Massa Específica (kg/dm^3)	Fator de Eficiência ($\text{MPa}\cdot\text{dm}^3/\text{kg}$)
T-0	61,4	2,42	25,37
T-1	46,2	2,30	20,09
T-2	21,0	2,05	10,24
T-3	12,3	1,84	6,68

Fonte: Autor.

Analisando os dados apresentados apenas o T-0, que não possui adição de EPS, que apresentou um fator de eficiência maior que $25\text{MPa}\cdot\text{dm}^3/\text{kg}$.

4.5. Absorção de Água

Com o aumento do teor de EPS no concreto a absorção de água também aumentou, isso se deve ao grande índice de vazios do EPS, que em sua composição 98% é ar. Os resultados de absorção de água estão dispostos na tabela 23.

Tabela 23: Percentual de água absorvida em cada traço

Traço	Dosagem de EPS (g)	Absorção de Água (%)
T-0	0	0,48
T-1	100	0,62
T-2	200	0,70
T-3	400	1,14

Fonte: Autor.

Fazendo uma comparação do concreto com EPS, com um concreto com ar incorporado, nota-se algumas semelhanças. Aumentando o teor de EPS ou ar incorporado no concreto haverá uma diminuição nos valores de resistência, haverá

também um aumento da permeabilidade deste concreto, o que pode ser a causa do aumento de absorção de água.

5. CONCLUSÕES

As massas específicas de todos os traços estudados tiveram uma redução com a adição do EPS, sendo que somente o T-2 e T-3, com 200 e 400g de EPS, podem ser considerados concretos leves de acordo com as três normas consideradas.

Quanto ao abatimento de tronco de cone, nenhum dos traços estudados atingiu o abatimento de 200 mm do concreto original, mas todos ficaram dentro do intervalo recomendado pelo *ACI*. Provavelmente, o fator que causou essa diminuição no abatimento do concreto foi a massa específica do EPS. Sendo essa consideravelmente menor do que massa específica dos agregados, conseqüentemente, a substituição desses no interior do concreto pelo EPS provoca um efeito menor de deformação da massa, causado pelas forças originadas do seu peso em função gravidade.

Levando em consideração as normas observadas e os resultados obtidos somente o T-2 (200g de EPS) pode ser considerado concreto leve estrutural, pois apresentou resistência à compressão axial superior a mínima exigida e massa específica inferior a 2,20 kg/dm³, de acordo com a *NS 3473 E*. O T-3 (400g de EPS) apresentou massa específica menor que o estabelecido pelas três normas consideradas, porém não atingiu a resistência à compressão mínima de 17,2 MPa, exigida pelo *ACI 213R-87* para ser considerado concreto estrutural leve.

Com a adição do EPS, a absorção de água do concreto também aumentou, tendo o T-1 um aumento de 30%, o T-2 um aumento de 46% e o T-3 um aumento de 137%. Possivelmente, esse grande aumento da absorção de água foi devido ao aumento da porosidade na interface entre o EPS e a matriz do concreto, pois o agregado de rocha possui uma composição química próxima da composição química do cimento hidratado; já o EPS possui natureza química distinta da composição da matriz. Com isso há limitação da aderência do EPS com a pasta de cimento, ficando um vazio ao redor do EPS, o que potencializa a permeabilidade e a absorção de água no concreto.

Os resultados indicaram que o EPS reciclado não se mostrou eficiente para os objetivos da pesquisa. Primeiramente pois os volumes retirados dos despejos da construção civil não foram significativos para o exemplo de reutilização proposto na pesquisa. Outro fator que dificulta o uso do EPS reciclado é variabilidade alta da

granulometria das pérolas, já que esse EPS tem que ser moído ou ralado antes de ser usado na produção do concreto. Portanto, deve ser considerado a possibilidade de aquisição do EPS pois o mesmo tem um custo relativamente baixo, o que garantiria uma granulometria uniforme e a possibilidade de trabalhar com pérolas maiores ou menores, dependendo do objetivo da utilização.

5.1. Sugestões para Trabalhos Futuros

Para sugestão de trabalhos futuros, seguindo esta mesma linha de pesquisa de concreto com EPS, os seguintes temas são sugeridos:

- Concreto Leve Estrutural com Adição de Micro EPS;
- Argamassa leve com EPS Reciclado para Preenchimento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 35 – Agregados Leves para Concreto Estrutural – Especificações**. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 45 – Agregado – Determinação da massa unitária e do volume de vazio**. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 52 – Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 53 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ABRAPEX – Associação Brasileira de Poliestireno Expandido. **O que é EPS** Disponível em: <http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html> Acesso em: 03 maio de 2015.

AÏTCIN, P.C. **Concreto de Alto Desempenho**. Associação Brasileira de Cimento Portland. PINI. 2000.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **Advances in concrete technology - proceeding second canmet/ aci international symposium**. ACI SP 154-95. Las Vegas, Nevada, USA, 1995.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete. ACI 213R-87**. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 27p., 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard Specification for Portland Cement. ASTM C150**. West Conshohocken, PA, 2012.

ANDRADE, J. J. Propriedades dos polímeros. In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. Cap. 41, v.2, p.1323-1350.

AVS TECNOLOGIA EM CONCRETO LEVE. **Concreto Leve**. Disponível em: <http://www.avskoncretoleve.com.br/conteudo?Pag=18>. Acesso em 03 de maio de 2015.

BASTOS, Paulo S. dos Santos, Dr. Notas de Aula – **Fundamentos de Concreto Armado**. UNESP – Bauru/SP. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/FUNDAMENTOS.pdf>. Acesso em 06 de maio de 2015.

BATTAGIN, A.F. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>. Acesso em 15 de abril de 2015.

CATOIA, T. **Concreto Ultraleve estrutural com pérolas de EPS: Caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes**. Tese de doutorado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2012.

CORDEIRO, G.C. **Concreto de alto desempenho com metacaulinita**. Campos dos Goytacazes, RJ, 2001. Dissertação (mestrado) M. Sc. em Ciências de Engenharia. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil, 2001. Disponível em: http://uenf.br/Uenf/Downloads/LECIV_1693_1122570637.pdf. Acesso em 06 de maio de 2015.

DEUTSCHES INSTITUT F. **Plastics – Symbols and abbreviated terms DIN ISO 1043-1**. Basic polymers and their special characteristics. 2001.

FONSECA, J.S., *et al.* **Estatística Aplicada**, Editora Atlas, 2ª Edição. São Paulo, 1985.

HOLM, T.A. **Specified density concrete – A transition**. In: Internacional Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete, 2. Kristiansand, Norway, 2000. Proceedings, p.37-46.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, 2011.

LANGLEY, W.S. *et al.* **ACI Special Publication**, n. 154, pp. 543-564, 1995.

MEHTA, Kumar P., MONTEIRO, PAULO J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Editora Pini, 1ª Edição. São Paulo, 1994.

NEVES, Idercio França Das. Materiais de construção: **Estudo de dosagem racional de concreto estrutural comum**. Pontifícia universidade católica do Paraná – Curitiba- PR. 2009.

ORTEGA, F.S., *et al.*, **Influência dos modelos de Alfred e Andreasen sobre a microestrutura e densidade a verde de compactos cerâmicos obtidos por colagem ou prensagem**, São Carlos, São Paulo, 1997.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**, São Paulo, n. 53, p. 14-19, jan.-fev.-mar, 2009

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações.** Editora Pini, 1ª Edição. São Paulo, 2009.

RIBEIRO, F. A.P. **Agregados: classificação e propriedades.** Materiais de Construção I. Amapá. CEAP.

SILMIX. **Ficha Técnica da Sílica Ativa Silmix.** Canoas, RS.

SILVA, D. O. B., *et al.* **Dosagem de EPS no Concreto Leve de Alta Resistência.** São Paulo: IBRACON, 2014.

SPITZNER, J. **High-Strength LWA Concrete.** High-Strength Concrete. RILEM Cap.II – Aggregates. 1994.

SCHMIDT, E.P. CARAVELAS, R.R.S., **Aplicação do método de empacotamento de partículas para redução do consumo de cimento.** Trabalho de conclusão de curso, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2013.

SCHWANTES, C.G.G. **Concreto Estrutural Leve: Resistência a compressão e Módulo de Elasticidade usando argila expandida como Agregado Graúdo.** Porto Alegre, 2012. Disponível em: http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/63166/000861222.pdf?sequence=1&locale=pt_BR. Acesso em 04 de maio de 2015.

TUTIKIAN, B.F et al., Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho. In: ISAIA, G.C. (Ed). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** 1.ed. São Paulo: IBRACON, 2011. 2V. P. 1283-1325).

7. APÊNDICE

 CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO" Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000			
MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO GRAÚDO PELO PICNÔMETRO			
Picnômetro N°	#	1	2
Massa Picnômetro+Brita+Água, T°C de Ensaio	(g)	2710,70	2850,00
Massa Picnômetro Cheio de Água	(g)	2398,00	2532,00
Temperatura de Ensaio	(°C)	24	24
Massa Material Seco	(g)	500,00	500,00
Massa Específica da Água, T°C de Ensaio	(g/cm ³)	0,9981	0,9981
Massa Específica	(g/cm ³)	2,67	2,75
Massa Específica Média	(g/cm ³)	2,71	

Massa específica do agregado miúdo por meio do frasco Chapman – NBR NM 45:2006

Equipamentos:

- Frasco de Chapman;
- Balança com precisão de 0,1g;
- Pipeta;
- Funil de vidro.

Procedimento experimental:

Primeiro coloca água no Chapman até 200ml, em seguida adiciona 500g de material seco em estufa e agita para retirar as bolhas de ar e anota a leitura final no Chapman (L).

Cálculos:

$$\gamma = 500/(L - 200) \rightarrow \gamma = 500/(388 - 200) \rightarrow \gamma = 2,66\text{g/cm}^3$$

